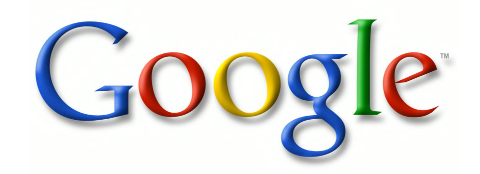
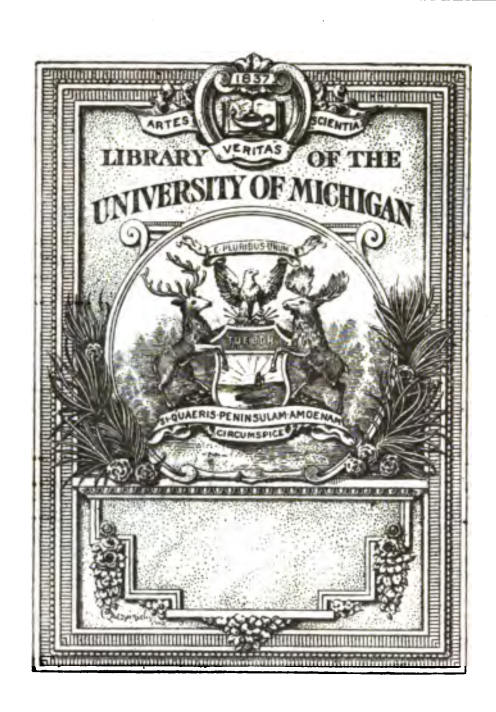



1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE

Die kapillare Leitung des Wassers

in den durch

den Schöne'schen Schlämmapparat

abgeschiedenen hydraulischen Werthen.



Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der philosophischen Doctorwürde

an der

Georg-Augusts-Universität

zu Göttingen

von

Wilhelm Edler,

Assistent am landwirthschaftl. Institut Göttingen.

GÖTTINGEN 1882.

Druck der Dieterichschen Univ.-Buchdruckerei.

W. Fr. Kaestner.

Vorliegende Arbeit, welche ich einer hohen philosophischen Facultät als Inaugural-Dissertation vorzulegen die Ehre habe, wurde im Laboratorium des landwirthschaftlichen Instituts der Universität Göttingen ausgeführt.

Ich benutze diese Gelegenheit mit Freuden, sowohl Herrn Prof. Dr. Drechsler, wie Herrn Dr. Fesca meinen aufrichtigsten Dank für die freundliche Unterstützung meiner Arbeit auszusprechen.

In seiner Schrift „Die Agronomische Bodenuntersuchung und Kartirung“ hat Dr. M. Fesca die Wichtigkeit der mit dem Schöne'schen Schlämmapparat ausgeführten mechanischen Bodenanalyse für die Bonitirung nachgewiesen und gezeigt, welche Schlüsse sich aus den Ergebnissen der mechanischen Analyse in Bezug auf Kulturwerth eines Bodens und die Mittel zur Verbesserung desselben ziehen lassen, sobald die Eigenschaften der einzelnen durch die Analyse quantitativ bestimmten Bodengemengtheile genau bekannt sind.

Die nachfolgenden Untersuchungen sollen einen Beitrag liefern zur Erweiterung unserer Kenntnisse in dieser Richtung. Ich habe mir die Aufgabe gestellt, das Verhalten der einzelnen durch den Schöne'schen Apparat abgeschiedenen hydraulischen Werthe [1]) gegen Wasser näher zu untersuchen und stelle in der nachfolgenden Abhandlung zunächst das Ergebniss des Studiums der kapillaren Leitung des Wassers in den einzelnen Constituenten [2]) zusammen.

---

1) Unter „hydraulische Werthe“ sollen die durch einen constanten Strom abgeschiedenen gleichwerthigen Produkte verstanden werden.

2) Im strengsten Sinne des Wortes ist „Constituent“ jeder Elementarstoff des Bodens. Zweckmässig jedoch bezeichnet man mit Fesca als Constituenten diejenigen Stoffgruppen, welche nach Massgabe unserer augenblicklichen Kenntnisse die für den Kulturwerth

Diese Untersuchungen haben meines Erachtens nicht nur einen Werth für die Ausbildung der Bonitirung auf Grund der mit dem Schöne'schen Apparate ausgeführten Bodenanalyse, sondern sind überhaupt für unsere Kenntniss über die Eigenschaften des Bodens von Wichtigkeit.

Wir besitzen zwar einige Arbeiten über die kapillare Leitung des Wassers im Boden[1]), aber sie haben meist nur geringen oder doch einseitigen Werth. Theils ist die Ausführung an und für sich nicht ganz fehlerfrei in Folge Benutzung zu enger und kurzer Röhren etc., theils ist das untersuchte Material wenig oder gar nicht geeignet, bestimmte Schlüsse auf andere Böden zuzulassen.

Untersuchungen von Bodenproben, die nur durch die Bezeichnungen: Thonboden, Gartenerde, Gypsboden characterisirt werden, können nur wenig zu Erweiterung unserer Kenntnisse über den Boden beitragen.

Sollten derartige Versuche auch sonst exact durchgeführt sein, was aber meist ganz unmöglich ist[2]), so haben

---

eines Bodens in Frage kommenden Eigenschaften bedingen. In diesem Sinne werde ich künftig den Ausdruck „Constituent" gebrauchen und damit die Produkte des Schöne'schen Apparats bezeichnen, da dieselben nach meinen Untersuchungen bezüglich ihres Verhaltens gegen Wasser dem Begriffe von Constituenten in hohem Grade entsprechen, während sie hinsichtlich ihres Verhaltens gegen Nährstofflösungen z. B. nicht als Constituenten angesehen werden können.

1) Schumacher, der Ackerbau p. 55. Meister, Jahresbericht der königl. bayerschen Centralschule Weihenstephan $18^{57}/_{58}$. Haberland, Wissenschaftlich practische Untersuchungen auf dem Gebiete des Pflanzenbaus. Wien 1875. Schleh, Ueber die Bedeutung des Wassers in den Pflanzen und die Regulirung dess. in unserm Culturboden. Dissertation. Leipzig 1876.

2) Ich erinnere nur daran, wie schwer es ist, z. B. einen Sandboden so gleichmässig in eine lange Röhre einzufüllen, dass sich

die gewonnenen Resultate doch nur Werth für den einen untersuchten Boden, nicht einmal für Böden derselben Gruppe.

A. Mayer[1]) ist meines Wissens der Erste, der, die Lücken derartiger Arbeiten erkennend, die Untersuchung von Bodenconstituenten wünscht und Klenze hat zuerst in seiner Arbeit „Untersuchungen über die kapillare Wasserleitung im Boden etc.“ [2]) versucht, die oben angeführten Mängel zu beseitigen.

Er geht sehr richtig von dem Grundsatze aus, dass die Untersuchungen über die Kappillarität des Bodens nur dann allgemeine Schlüsse zulassen, wenn man sie möglichst elementar vornimmt, und sie so anstellt, „wie es bei allen naturwissenschaftlichen Arbeiten erforderlich ist, dass nämlich bei den verschiedenen Versuchsobjecten der Versuchsanstellung alle Faktoren mit Ausnahme eines einzigen gleich sind.“ Dazu verwendet er meist nicht ganze Böden, sondern „Bodenconstituanten.“

Der Mangel der Klenze'schen Arbeit liegt darin, dass die verwandten Bodenconstituenten nicht rein sind, folglich nicht als einzelne Constituenten, sondern als mehr oder weniger grosse Gruppen derselben angesehen werden müssen.

Es fragt sich, ob man diesen Fehler vermeiden kann.

Bis jetzt ist es noch durch keine Methode der mechanischen Bodenanalyse gelungen, in den feineren Produkten wirklich reine Bodenconstituenten abzuscheiden, sondern wir haben in denselben stets Gruppen von Constituenten vor uns. Es ist daher vorläufig auch nicht möglich, Unter-

---

nicht verschiedene grob- und feinkörnige Zonen bilden. Ausserdem tritt bei verschiedenen Böden leicht die Unannehmlichkeit zu Tage, dass es nicht möglich ist, den Stand des Wassers mit dem Auge zu erkennen.

1) Lehrbuch der Agriculturchemie II. p. 143 sq.

2) Landwirthschaftliche Jahrbücher Bd. 6. 1877. p. 83.

suchungen mit den einzelnen Bodenconstituenten vorzunehmen.

Die Klenze'sche Arbeit würde daher das leisten, was wir nach dieser Richtung hin heute leisten können, wenn die angewandten Constituentengruppen scharf und möglichst eng begrenzt wären.

Fassen wir daraufhin die Klenze'schen „Reinen Bodenconstituanten“ ins Auge. Zunächst benutzt er: „Kaolin, feingeschlämmte französische Porzellanerde aus der königlichen Porzellanfabrik zu Nymphenburg bei München.“ Nähere Angaben über die Zusammensetzung dieses Kaolins, über die Art des Abschlämmens und über die Korngrösse fehlen. Sodann Torf (1% Sand und Asche enthaltend) durch ein 0,3 mm. Sieb gesiebt. Derselbe enthält also alle Korngrössen von 0,3 mm. bis zur Unmessbarkeit. Ferner Quarzstaub, durch Pulvern reinen Quarzes hergestellt und gesiebt durch das 0,3 mm. Sieb. Also auch hier haben wir keine eng begrenzte Korngrösse vor uns, sondern ein Gemisch, wie beim Torf. Am störendsten für die Ergebnisse der mit diesen Materialien angestellten Versuche ist vor allen die Anwesenheit der „feinsten Theile“, die von dem „Staube“ nicht getrennt sind. Dasselbe gilt von Marmorstaub, in derselben Weise wie der Quarzstaub aus reinem Marmor hergestellt.

Ausserdem wird ein Quarzboden und ein Sandboden durch Siebe in 5 Parthieen von verschiedenen Feinheitsgraden gesiebt und zwar beträgt die Grösse der Körnchen

bei	I.	zwischen	2,50	u.	4,00	mm.
„	II.	„	1,18	„	2,50	„
„	III.	„	0,74	„	1,18	„
„	IV.	„	0,30	„	0,74	„
„	V.	„	staubfein	„	0,30	„

Von Probe V. wurden die feinsten Theile abgeschlämmt,

aus den andern Proben (I. — IV.) sind dieselben durch Auswaschen „mittelst eines starken Wasserstrahls" entfernt.

Demnach würden diese 5 Siebprodukte zwar rein sein, jedoch ist die Begrenzung der einzelnen Korngrössen theils eine zu weite, theils durch die Anwendung sonst nicht üblicher Siebe (0,74 mm. 1,18 mm.) eine solche, dass man schwer eine Vergleichung der Resultate mit denen anderer Versuche anstellen kann.

Die von mir zu nachfolgenden Untersuchungen verwandten Materialien umfassen zwar, vor allen in den „feinsten Theilen" und dem „Staube" (0,05—0,01 mm.), auch nicht einen Constituenten, sondern eine Gruppe derselben, jedenfalls aber sind sie so rein und so eng begrenzt, wie sie nach dem heutigen Stande der mechanischen Bodenanalyse überhaupt hergestellt werden können, und deshalb werden die mit ihnen angestellten Untersuchungen auch für die Weiterentwicklung unserer Kenntnisse von den Eigenschaften des Bodens nicht ohne Werth sein.

Versuchsmaterial.

Alle Materialien wurden durch den Schöne'schen Schlämmapparat mit Orth'scher Abänderung gewonnen resp. von andern Beimengungen befreit. Die gröberen Korngrössen (von 0,25 mm. an) wurden durch Rundlochsiebe[1]) mit genau gemessener Lochweite getrennt.

Die Methode der Analyse mit dem Schöne'schen

1) Maschensiebe mit quadratischen Maschen sind für genaue Untersuchungen nicht brauchbar, da die mit ihnen getrennten Produkte nicht der Maschenweite genau entsprechen, sondern Körner enthalten, deren Durchmesser gleich der Diagonale des Quadrats, also grösser wie die Seite desselben ist.



Apparat setze ich als bekannt voraus[1]) und erinnere hier nur daran, dass das Abschlämmen der 3 feinsten Produkte (— feinste Theile, Mineralstaub 0,05—0,01 mm., und feiner Sand 0,1—0,05 mm. —) durch Stromgeschwindigkeiten von 0,2 mm., 2 mm., resp. 7 mm. per Secunde geschieht.

1. Feinste Theile. Korngrösse unter 0,01 mm.

Ich benutzte einmal feinste Theile, abgeschieden aus Kaolin von der steinernen Jungfrau bei Halle a/S.; eine andere Probe trennte ich aus einem Diluviallehm von Halle a/S. und eine dritte aus Diluvialmergel von demselben Orte ab.

Die Zusammensetzung des lufttrockenen Feinbodens dieser 3 Bodenarten ist folgende:

	Kaolin.	Diluvial-lehm.	Diluvial-mergel.
4 —3 mm.	—	0,632	0,716
3 —2 „	0,516	1,078	0,916
2 —1,5 „	1,052	1,242	1,210
1,5 —1 „	1,598	1,576	1,548
1 —0,5 „	3,210	4,194	3,734
0,5 —0,25 „	3,298	30,086	26,360
0,25—0,1 „	2,032	6,766	6,698
0,1 —0,05 „	16,196	25,180	32,494
0,05—0,01 „	10,346	7,986	5,324
unter 0,01 „	61,730	21,062	20,976
Sa.	100,028	99,802	99,976

Um ganz sicher zu sein, dass mit den „feinsten Theilen" nicht irgend welche gröberen Korngrössen abgeschlämmt wurden, nahm ich die Trennung nie ganz scharf vor, sodass alle Körnchen, die auf der Grenze zwischen den „feinsten Theilen" und dem 2ten Schlämmprodukte (0,05—0,01 mm.) lagen, nicht mit in die „feinsten Theile" übergeführt wurden.

Das erhaltene Material wurde zur Trockene verdampft

1) s. Fesca a. a. O. p. 143.

und in einer Porzellanreibschale bis zur vollständig mehligen Beschaffenheit zerrieben.

Auf ganz gleiche Weise stellte ich mir aus gewöhnlicher Schreibkreide durch Pulverisiren, Zerkochen und Abschlämmen bei 0,2 mm. per sec. ein Quantum „feinster Theile" her, welches ich zu einem später zu besprechenden vergleichenden Versuche benutzte.

2. Mineralstaub. 0,05—0,01 mm. Korngrösse.

Zur Herstellung dieses Constituenten verwandte ich einen kalkfreien und zweitens einen kalkhaltigen Löss aus Crimderode bei Niedersachswerfen mit folgender Zusammensetzung des lufttrockenen Feinbodens:

	kalkhaltiger Löss.	kalkfreier Löss.
4 —3 mm.	0,244	0,478
3 —2 „	0,438	0,398
2 —1,5 „	0,296	0,398
1,5 —1 „	0,488	0,296
1 —0,5 „	1,094	0,456
0,5 —0,25 „	8,994	4,948
0,25—0,1 „	5,444	
0,1 —0,05 „	17,664	11,108
0,05—0,01 „	38,710	53,178
unter 0,01 „	26,730	28,122
Sa.	100,102	99,282

Das Abtrennen des Staubes geschah mit einer Stromgeschwindigkeit von 2 mm. per sec. mit denselben Vorsichtsmassregeln, die bei den „feinsten Theilen" angegeben.

3. Feiner Sand. 0,1—0,05 mm. Korngrösse.

Die 3te Constituentengruppe — 0,1—0,05 mm. — schlämmte ich ab aus Tertiärsand von Halle a/S., Diluviallehm und Diluvialmergel (s. o.).

Sowohl beim Staube (0,05—0,01 mm.) wie beim 3ten

Schlämmprodukte (0,1—0,05 mm.) war es von besonderer Wichtigkeit, die „feinsten Theile“ vollständig entfernt zu haben.

Um dies zu erreichen, wurde die zu schlämmende Bodenprobe sehr gut gekocht, ferner die „feinsten Theile“ so scharf wie möglich abgetrennt und endlich die erhaltenen Produkte (Staub und 0,1—0,05 mm. Korngrösse) nochmals mit Wasser gekocht, um die etwa noch anhaftenden „feinsten Theile“ durch abermaliges Abschlämmen zu entfernen. Selbstverständlich wurde das 3te Schlämmprodukt auf analoge Weise von dem Staube (0,05—0,01 mm.) gereinigt[1]. —

Dass alle diese Manipulationen einen bedeutenden Zeitaufwand erforderen, ist bei der Menge des zur Untersuchung nöthigen Materials einleuchtend, zumal man zur Zeit nur 50 g. Feinboden durch den Apparat analysiren kann. Erreicht wurde aber jedenfalls, dass die zur Untersuchung verwandten Materialien vollständig rein — frei von andern Beimengungen — waren.

Die gröberen Produkte — 0,25—0,1 mm. Korngrösse, abgetrennt aus Tertiärsand von Halle a/S., 0,5—0,25 mm. Korngrösse, abgetrennt aus Diluviallehm (s. o.) und 1,0—0,5 mm. Korngrösse, ebenfalls abgetrennt aus Diluviallehm — wurden entsprechend den obigen Angaben von anderen Beimengungen befreit.

Die über 1,0 mm. Korngrösse liegenden Produkte konnte ich leider vorläufig nicht in die Untersuchung hineinziehen, da es mir nicht möglich war, genügende Quantitäten dieser Constituenten zu erlangen.

---

1) Da es sich natürlich darum handelte, möglichst absolut reine Materialien zu verwenden, so war es nöthig, selbst diejenigen kleinen Verunreinigungen, die durch mehr oder weniger scharfes Abtrennen entstehen, und welche für die quantitative Analyse vollständig ausser Betracht kommen, zu entfernen.

Versuchsanstellung.

Zur Anstellung der Versuche benutzte ich 3,5 cm im Durchmesser haltende Röhren in der Länge von 1 Meter. Dieselben waren von 0,5 zu 0,5 cm graduirt und bei 30 cm und 60 cm durchschnitten, um hier ein Auseinandernehmen zu ermöglichen. Diese Stellen wurden gut aufeinandergeschliffen und durch festschliessende Kautschukringe verbunden. Am untern Ende verband ich die Röhren mit Mull und grobem Filtrirpapier und spannte sie in ein eisernes Stativ, sodass jedes Röhrenstück durch eine Klammer festgehalten wurde.

Das Stativ war so eingerichtet, dass 10 Röhren neben einander befestigt werden konnten. Alle Röhren standen in einem gemeinsamen breiten Wasserkasten (Zinkblech mit Oelfarbe gestrichen), der durch einen mit Löchern für die Röhren versehenen Blechdeckel verschlossen wurde. Das Wasser wurde in demselben während des ganzen Versuchs ohne Schwierigkeit auf demselben Niveau erhalten.

Das Füllen der Röhre mit dem Versuchsmaterial geschah folgendermassen.

Der unterste Theil der Röhre wurde zuerst im Stativ so festgeschroben, dass die mit Mull verbundene Oeffnung ca. 1 cm. über dem Wasserspiegel lag. Alsdann liess ich aus einem gekniffen Stück Glanzpapier stets gleiche Mengen des Materials langsam in die Röhre einlaufen und bewirkte nach jedem eingefüllten Quantum durch 10 leichte Schläge mit der flachen Hand gegen die Röhre eine etwas festere Lagerung des Materials. Letzteres geschah stets, nachdem mehrere Versuche gezeigt hatten, dass das feinere Material (feinste Theile etc.) bei ganz loser Einfüllung so viel Risse bekommt, dass der Versuch stets misslingt.

War der untere Röhrenabschnitt ungefähr bis auf 1 cm

gefüllt, so wurde der folgende Röhrentheil mit dem Kautschukring fest angeschlossen und dann gerade so gefüllt; ebenfalls der obere Theil.

Nun wurde der obere und untere Theil der Röhre fest gefasst, die Schrauben der drei Klammern etwas gelöst und dann die ganze Röhre sehr vorsichtig mit Vermeidung aller Stösse bis zum Beginn der Theilung (1/2 cm vom Ende der Röhre) in das Wasser eingesenkt und die Klammern wieder festgeschroben.

Dass es auf diese Weise gelang, die Lagerung der verschiedenen Materialien gleicher Korngrösse bei den verschiedenen Versuchen gleichmässig herzustellen, zeigen die Resultate.

Die Beobachtungen wurden je nach der Geschwindigkeit des Steigens zuerst alle 5 Minuten bis Viertelstunde, dann alle Stunde und zuletzt täglich notirt.

Sehr häufig kam es vor, dass der Stand des Wassers an den verschiedenen Seiten der Röhre ein verschiedener war. Es wurde dann stets das Mittel aus den verschiedenen Ablesungen verzeichnet.

Die Temperatur wurde möglichst gleichmässig auf 17,5° C. erhalten.

Ausführung der Versuche.

I. Feinste Theile (unter 0,01 mm.)

1. Kaolin — 0,01 mm.

Vom 18. Februar — 15. Juni 1880.

Tage.	Röhre. I. cm.	Röhre. II. cm.	Tage.	I. cm.	II. cm.	Tage.	I. cm.	II. cm.	Tage.	I. cm.	II. cm.	Tage.	I. cm.	II. cm.
1	9,5	6,5	25	45,5	46,5	49		65,5	73	80	80	97	91,5	„
2	13,5	11,5	26	46,5	47,5	50	62,75	66	74	80,5	80,75	98	92	91,75
3	16,5	15	27	47,25	48,25	51	63,75	66,75	75	81	81,25	99	92,5	92
4	19	17,5	28	48,25	49,25	52	64,75	67,75	76	81,5	81,75	100	93	92,5
5	21,25	20	29	49,25	50,25	53	65,5	68,5	77	82	82	101	93,5	93
6	23	22	30	50	50,75	54	66,5	69	78	82,5	82,5	102	94	93,5
7	24,5	23,5	31	50,75	51,25	55	67,25	69,25	79	83	83,75	103	94,5	94
8	26	25,25	32	51,5	52,75	56	68	70	80	83,5	„	104	95	94,5
9	27,5	27	33	52,25	53,75	57	68,75	70,5	81	84	84	105	95,5	95
10		28,25	34	53	54,5	58	69,5	71	82	84,5	84,5	106	95,75	95,5
11			35	53,75	55	59	70,25	71,75	83	85	85	107	96	96
12			36	54,75	55,75	60	71	72,25	84	85,5	85,5	108	96,25	96,5
13			37	55,5	56,75	61	72	73	85	86	86	109	96,5	96,75
14	33,25	33,5	38	56,25	57,5	62	72,75	73,75	86	86,5	86,5	110	96,75	97,25
15	34,5	35	39	57	58	63	73,5	74,5	87	87	87	111	97	97,5
16	35,75	36	40	57,5		64	74,25	75	88	87,5	87,5	112	97,25	97,75
17	37	37,5	41	58		65	75	75,5	89	88	88	113	98	98,25
18	38	38,5	42			66	75,75	76	90	88,5	88,5	114	98,25	98,5
19	39,25	40	43			67	76,5	76,5	91	89	89,25	115	98,5	98,75
20	40,25	41	44			68	77	77	92	89,5	89,75	116	98,75	99
21	41,25	42	45		62,75	69	77,5	77,75	93	90	90,25	117	99	99,5
22	42,25	43,25	46		63,5	70	78,25	78,25	94	90,25	90,75	118	99,5	100
23	43,25	44,25	47		64,25	71	78,75	78,75	95	90,5	91,25			
24	44,5	45,5	48		64,75	72	79,5	79,5	96	91	91,5			

Was zunächst das Fehlen der Notirungen an einzelnen Tagen (10—13. 40—49.) betrifft, so war an diesen Tagen das Ablesen unmöglich, da der Stand des Wassers durch die Verbindungsschläuche verdeckt war.

Das Steigen des Wassers geschah, wie man aus den Zahlen und noch besser aus der anliegenden graphischen Darstellung sehen kann, im Allgemeinen gleichmässig. Am

ungleichmässigsten ist die Leitung in den ersten beiden Tagen, vor allem in den ersten Stunden.

Das Wasser stieg	in Röhre I bis	in Röhre II bis
in der 1. Stunde	2 cm	2 cm
„ „ 2. „	3 „	2,5 „
„ „ 3. „	3,5 „	3 „
„ „ 4. „	4 „	3,5 „
„ „ 5. „	4,5 „	„ „
„ „ 6. „	5 „	4 „

Der Grund für diese unbedeutenden Differenzen liegt theils in kleinen Ungleichmässigkeiten der Füllung, theils in der nicht zu vermeidenden Ungenauigkeit der Ablesung, da man nur im Stande ist, die Höhe des Wasserstandes am äusseren Rande der Bodensäule abzulesen und nicht beurtheilen kann, ob im Innern das Wasser höher oder niedriger steht. Endlich ist es gerade bei den „feinsten Theilen" des Kaolins nicht zu vermeiden, dass sich in der ersten Zeit Risse in dem mit Wasser gesättigten Untersuchungsmaterial bilden, die für kurze Zeit die kapillare Leitung unterbrechen und durch leichtes Klopfen an der Röhre wieder beseitigt werden müssen.

Auf den allgemeinen Gang der kapillaren Leitung haben diese Ungleichmässigkeiten keinen Einfluss, wie man auch aus den Zahlen ersieht, sie werden vielmehr ziemlich ausgeglichen.

Nach diesen Versuchen ist die kapillare Leitung des Wassers in den „feinsten Theilen" des Kaolins eine langsame, bis zu bedeutender Höhe fortdauernde.

Da bis zur Höhe von 1 m die Leitung ohne wesentliche Verlangsamung stattgefunden, so ist wohl mit Recht anzunehmen, dass in einer längeren Säule das Wasser einen noch höheren Stand erreicht haben würde.

2. Diluviallehm. — 0,01 mm.
Vom 27. November 1880. — 8. April 1882.

Tage.	cm.	Tage.	cm.	Tage.	cm.	Tage.	cm.	Tage.	cm.	Tage.	cm.	Tage.	cm.	Tage.	cm.
1	11	19	41	37	56	55	66,5	73	74,5	91	81,5	109	88,25	127	93,5
2	14,75	20	42	38	56,75	56	67	74	75	92	82	110	88,5	128	93,75
3	17,75	21	43	39	57,5	57	67,5	75	75,5	93	82,5	111	88,75	129	94
4	19,75	22	44	40		58	68	76	75,75	94	82,75	112	89	130	94,25
5	21,75	23	45	41		59	68,5	77	76	95	83	113	89,25	131	94,5
6	23,75	24	46	42		60	69	78	76,5	96	83,5	114	89,75	132	94,75
7	25,5	25	47	43		61	69,5	79	77	97	83,75	115	90	133	95
8	27	26	48	44		62	70	80	77,5	98	84,25	116	90,25	134	95,52
9	28,5	27	48,75	45		63	70,25	81	78	99	84,5	117	90,5	135	95,5
10		28	49,5	46		64	70,75	82	78,25	100	84,75	118	91	136	95,75
11		29	50,25	47	62,25	65	71,25	83	78,5	101	85,25	119	91,25	137	96
12	32,75	30	51,25	48	62,75	66	71,5	84	79	102	85,75	120	91,5	138	96,25
13	34,25	31	52	49	63,5	67	72	85	79,25	103	86	121	91,75	139	96,5
14	35,75	32	52,75	50	64	68	72,5	86	79,75	104	86,25	122	92	140	96,75
15	36,75	33	53,5	51	64,5	69	72,75	87	80	105	86,75	123	92,5	141	97
16	37,75	34	54	52	65	70	73,25	88	80,5	106	87	124	92,75	142	97,25
17	38,75	35	54,75	53	65,5	71	73,75	89	80,75	107	87,5	125	93		
18	40	36	55,25	54	66	72	74	90	81,25	108	88	126	93,25		

In Bezug auf das Fehlen der Notirungen an einzelnen Tagen verweise ich auf das oben Gesagte.

Der Verlauf der kapillaren Leitung ist hier im Grossen und Ganzen derselbe wie beim Kaolin unter 0,01 mm.

Ganz gleich ist die Geschwindigkeit des Steigens ca. bis zum 39. Tage; von hier an bleibt der Diluviallehm etwas hinter dem Kaolin zurück, so dass in der graphischen Darstellung die Kurve des Diluviallehm unterhalb der des Kaolins verläuft. Hierauf werde ich später zurückkommen.

Der Verlauf der kapillaren Steigung des Wassers im Diluviallehm (—0,01 mm) ist jedoch ebenso wie beim Kaolin (—0,01 mm) bis auf einige kleine Abweichungen, die in unvermeidlichen Lagerungsverschiedenheiten ihren Grund haben werden, ein gleichmässiger; die graphische Darstellung zeigt eine regelmässige Kurve.

Den Versuch doppelt anzustellen, erlaubte mir der Mangel an Material nicht; derselbe ist aber auch so regelmässig und ohne jegliche Störung verlaufen, dass er vollwichtige Schlüsse zulässt.

Die Geschwindigkeit des Steigens in den ersten Stunden zeigt folgende Tabelle.

Das Wasser stieg

in — Stunden	Minuten	bis	cm
—	15	„	1,75
—	30	„	2,5
—	45	„	2,75
1	—	„	3
1	15	„	3,5
1	30	„	3,75
1	45	„	4
2	—	„	4,25
2	30	„	4,55
3	—	„	4,75
4	—	„	5,25
5	—	„	5,75
6	—	„	6,25
7	—	„	7,00

3. Diluvialmergel. — 0,01 mm. 4,08% CaO.

Vom 21. Juni. — 28. Juli 1881.

Tage.	cm.	Tage.	cm.	Tage.	cm.	Tage.	cm.
1	14,5	11	44,25	21		31	72
2	20	12	46,5	22		32	73,5
3	23,5	13	48,25	23	62,5	33	74,5
4		14	49,5	24	63,75	34	75,5
5		15	51	25	65,25	35	76,5
6	33,5	16	52,5	26	66,25	36	77,25
7	36,25	17	54	27	67,75	37	78
8	38,5	18	55,5	28	68,75		
9	40,5	19	57	29	70		
10	42,75	20	58,5	30	71,25		

Wie aus der Tabelle ersichtlich, ist die kapillare Leitung in den feisten Theilen des Diluvialmergels eine bedeutend raschere, als in denen des Kaolins und des Diluviallehms. In 37 Tagen ist z. B. das Wasser

im Diluvialmergel 78 cm
im Diluviallehm 56 „
im Kaolin 55,5 „

hoch gehoben auf den Grund dieser Erscheinung werde ich später zurückkommen.

Der Versuch ist nur bis 78 cm fortgesetzt aus Mangel an Material.

Im Anfang des Versuchs stellte sich die kapillare Leitung folgendermassen:

Das Wasser wurde gehoben

in	—	St.	5	M.	bis	1,25	cm
„	—	„	10	„	„	1,75	„
„	—	„	15	„	„	2	„
„	—	„	20	„	„	2,25	„
„	—	„	2	„	„	2,5	„
„	—	„	30	„	„	2,75	„
„	—	„	35	„	„	3	„
„	„	45	—	„	„	3,25	„
„	1	„	—	„	„	3,5	„
„	1	„	30	„	„	4	„
„	2	„	—	„	„	4,5	„
„	2	„	30	„	„	5	„
„	3	„	—	„	„	5,25	„
in	3	St.	30	M.	bis	5,75	cm
„	4	„	—	„	„	6	„
„	4	„	30	„	„	6,25	„
„	5	„	—	„	„	6,5	„
„	5	„	30	„	„	6,75	„
„	6	„	—	„	„	7,25	„
„	6	„	30	„	„	7,5	„
„	7	„	—	„	„	7,75	„
„	7	„	30	„	„	8	„
„	8	„	—	„	„	8,25	„
„	9	„	—	„	„	9	„
„	10	„	—	„	„	9,5	„

4. Kreide. — 0,01 mm.

Vom 17. Januar. — 19. Februar 1881.

Tage.	cm.	Tage.	cm.	Tage.	cm.	Tage	cm.
1	12,25	10	35,5	19	55,5	28	69
2	17,5	11	37	20	57	29	70,5
3	21,5	12	41,5	21	58,5	30	71,25
4	25	13	43	22		31	72
5	28	14	45,5	23		32	73,5
6		15	47,5	24		33	74,5
7		16	50	25	63,75		
8		17	52,25	26	65,75		
9		18	54	27	67,25		

Auch hier finden wir eine grössere Geschwindigkeit der Leitung als beim Kaolin und Diluviallehm, und zwar differirt dieselbe im Allgemeinen nicht sehr von der beim Diluvialmergel beobachteten.

Aus diesem Versuche kann man speciellere Schlüsse, als die, auf welche ich später eingehen werde, nicht ziehen, da derselbe sehr unregelmässig verlief und die Leitung wiederholt durch Risse unterbrochen wurde (wie z. B. am 5. Tage bei 28 cm). Man findet diese Unregelmässigkeiten auch im Verlauf der graphischen Darstellung deutlich ausgesprochen. Wiederholt wurde der Versuch nicht, weil diese Fehlerquellen nicht zu vermeiden waren, und ausserdem das Resultat für den Zweck, für den der Versuch angestellt war, genügte.

Wie oben gebe ich auch hier den Verlauf der kapillaren Leitung während der ersten Stunden.

Das Wasser stieg

in 1 Stunde bis 2,5 cm.
„ 2 „ „ 3,5 „
„ 3 „ „ 5 „

in	4	Stunden	bis	5 cm.
„	5	„	„	5,5 „
„	6	„	„	6,0 „
„	7	„	„	6,5 „

Fassen wir nun die Resultate der Versuche mit den „feinsten Theilen“ zusammen, so stieg das Wasser in allen angewandten Materialien mehr oder weniger langsam aber zu einer bedeutenden Höhe.

Stets erfolgte die kapillare Hebung in den ersten Tagen, vor allen in den ersten Stunden, schneller als später.

So wurde das Wasser im Kaolin Röhre I

am	1.	Tage	9,5	cm.	hoch	gehoben
„	2.	„	4	„	„	„
„	3.	„	3	„	„	„
„	4.	„	2,5	„	„	„
„	5.	„	2,25	„	„	„
„	6.	„	1,75	„	„	„
„	7.	„	1,5	„	„	„
„	8.	„	1,5	„	„	„
„	9.	„	1,5	„	„	„
„	15.	„	1,25	„	„	„
„	16.	„	1,25	„	„	„
„	17.	„	1,25	„	„	„

Von da ab steigt es durchschnittlich täglich 1 cm. bis zum 30. Tage, dann 0,75 cm. bis zum 67. Tage, darauf 0,5 cm. bis zum 105. Tage und endlich durchschnittlich 0,25 cm. per Tag.

Ganz ähnlich ist der Verlauf der übrigen Versuche.

Die Erklärung hierfür liegt darin, dass mit der Höhe der kapillargehobenen Wassersäule auch die der Kapilla-

rität entgegenwirkende Schwere derselben steigt und so eine Verlangsamung der Kapillarleitung herbeiführt. Dieselbe Erscheinung finden wir später bei allen Versuchen wieder und verweise ich bezüglich des Grundes auf obige Erklärung.

Nicht ohne weiteres verständlich ist der Unterschied, der sich zwischen der kapillaren Leitung des Wassers in den „feinsten Theilen“ des Kaolins und der in den „feinsten Theilen“ des Diluviallehms und des Diluvialmergels zeigt.

A priori sollte man annehmen, dass, da bei allen drei Versuchsmaterialien die Korngrösse vollständig gleich ist, auch die kapillare Leitung des Wassers gleichmässig vor sich ginge. Wie wir aber sahen, war dieselbe beim Diluviallehm von einer bestimmten Höhe an langsamer, beim Diluvialmergel bedeutend schneller, als beim Kaolin.

Der Grund für diese Erscheinung kann nur in der stofflichen Verschiedenheit der drei Materialien liegen.

Aus den von Fesca[1]) ausgeführten Analysen der „feinsten Theile“ von Thon- und Lehmböden ergiebt sich, dass die „feinsten Theile“ der untersuchten Lehmböden procentisch reicher an leicht löslichen Silikaten und ärmer an Thon sind, als die „feinsten Theile“ der Thonböden.

Genügen diese wenigen Untersuchungen nun auch nicht, um ihr Ergebniss auf alle Thon- und Lehmböden übertragen zu können, so ist es doch jedenfalls nicht allzu gewagt, auf dieselben einen Versuch zur Erklärung obiger Erscheinungen zu gründen.

Die „feinsten Theile“ des Diluvialmergels unterscheiden sich von den beiden anderen Materialien durch ihren Kalkgehalt (4,08% Ca O).

---

1) a. a. O. p. 31.

Ich erkläre mir nun die Differenzen in der kapillaren Leitung des Wassers in den drei Materialien folgendermassen.

Während jedes Quarzpartikelchen ein festes, massiges Ganges bildet, müssen wir die feinsten Thontheilchen als poröse, mit den engsten Haarröhrchen durchzogene Körper ansprechen. In einem noch höheren Grade besitzen diese Porosität die feinsten Kalktheilchen.

Wir werden demnach in den „feinsten Theilen“ des Diluviallehms wegen ihres höheren Quarzgehalts weniger der engsten Kapillarröhrchen anzunehmen haben, als in den „feinsten Theilen“ des Kaolins, mehr dagegen in denen des Diluvialmergels des Kalkgehalts wegen.

Hieraus ergiebt sich dann aber auch, dass eine Verlangsamung der kapillaren Leitung des Wassers durch die Gegenwirkung der Schwere der gehobenen Wassersäule sich am ersten bei den feinsten Theilen des Diluviallehms wird bemerkbar machen müssen, da in denen des Kaolins die Kapillarattraction durch Vorhandensein der vielen feinsten Haarröhrchen in den einzelnen Thontheilchen eine grössere ist, folglich die Schwerkraft auch länger überwinden kann.

Dieselbe Wirkung in noch höherem Grade werden die Kalkpartikelchen im Diluvialmergel hervorbringen.

Zum Beleg für diese letztere Ansicht stellte ich den oben angeführten Versuch mit den „feinsten Theilen“ der Kreide an, dessen Ergebniss meine Erwartungen bestätigte.

Ob diese Erklärung der obigen Differenzen die richtige ist, oder ob der Grund für dieselben irgend wo anders zu suchen ist, kann ich vorläufig noch nicht entscheiden, hoffe aber durch anzustellende Untersuchungen Gewissheit darüber zu erhalten.

II. Staub. (0,05—0,01 mm.)

1. Kalkfreier Löss (0,05—0,01 mm.)

I. 22. September 1881. 9 Uhr. II. 1. October 1881. 9 Uhr.

Nach Stund.	Nach Min.	Röhre. I. cm.	Röhre II. cm.	Nach Stund.	Nach Min.	I. cm.	II. cm.
—	5	5,5	5,5	2	—	—	—
—	10	7,5	8	3	—	35	34
—	15	9,5	10	4	—	39	37
—	30	14,0	14,5	5	—	43	42,5
—	45	17,75	17,5	6	—	46	45,75
1	—	20	19,5	7	—	50,25	49,75
1	15	22,5	22,5	8	—	53,25	53
1	30	24,5	24,75	9	—	55,75	55,5
1	45	26,75	27				

Nach diesen Zahlen zeigt der Staub eine ungemein schnellere Kapillarleitung als die „feinsten Theile".

Es steigt das Wasser im

	Staube.		feinst. Th. (Kaolin)
in 1 Stunde	bis 20 cm.	—	bis 2 cm.[1])
„ 3 „	„ 35 „		„ 3,5 „
„ 4 „	„ 39 „		„ 4,0 „
„ 5 „	„ 43 „		„ 4,5 „
„ 6 „	„ 46 „		„ 5 „

Leider musste bei 60 cm. der Versuch abgebrochen werden, da mir nicht mehr Material zur Verfügung stand.

Die ziemlich unverringerte Geschwindigkeit des Steigens in den letzten Stunden lässt jedoch darauf schliessen, dass

1) Nach obigen Zahlen ist die Kapillarleitung im Staube fast genau eine zehnmal schnellere, als in den „feinsten Theilen". Wenn dies Verhältniss auch wohl nur ein zufälliges ist, so zeigt es doch recht deutlich die grosse Verschiedenheit beider hydraulischen Werthe in ihrem Verhalten gegen Wasser.

noch in einer bedeutend höheren Säule die Kapillarleitung fortgedauert hätte. Aus dem unter 2. folgenden Versuche kann man wohl mit Recht schliessen, dass auch hier das Wasser bis über 1 m. hinaus gestiegen wäre.

Um eine Controle des Versuchs zu haben, führte ich denselben später noch einmal mit demselben Material, das natürlich vorher getrocknet war, aus und erhielt die unter II notirten Ergebnisse.

Ausser kleinen Schwankungen, die auf schon früher erwähnte Ursachen (kleine Ungleichmässigkeiten der Füllung, unegales Steigen am Rande und im Inneren der Bodensäule etc.) zurückzuführen sind, verliefen beide Versuche gleichmässig.

2. Kalkhaltiger Löss (0,05—0,01 mm.) 3,56% Ca O.

I. 22. September 1881. 9 Uhr. II. 1. October 1881. 9 Uhr.

Nach Stund.	Nach Min.	Röhre. I. cm.	Röhre II. cm.	Nach Stund.	Nach Min.	I. cm.	II. cm.
—	5	3,5	4,25	3	—	36	35,25
—	10	7	6	4	—	40	39,5
—	15	9,5	9	5	—	43,75	43,25
—	30	14,25	14,5	6	—	47	46,5
—	45	18,25	18,5	7	—	51	50,25
1	—	20,5	21	8	—	53,75	53,5
1	15	23,5	24,75	9	—	56,25	56,5
1	30	25,5	27	24	—	77	77,25
1	45	27,75	—	48	—	92	91,5
2	—	—	—		—		

Dieser Versuch bestätigt das Resultat des vorigen.

Auch hier wurde das Wasser sehr schnell zu grosser Höhe geleitet. In 2 Tagen stieg dasselbe bis 91,5 cm. und die Energie des Steigens am letzten Tage berechtigt zu der Annahme, dass ev. das Wasser über 1 m. hinaus kapillar geleitet wäre.

Der Versuch unter II wurde zur Controle ausgeführt.

Vergleichen wir nun diese Resultate mit denen des vorhergehenden Versuchs unter 1., so zeigt sich, dass im kalkhaltigen Löss die Leitung von einem Punkte an eine etwas schnellere war, als im kalkfreien Löss. Zur besseren Uebersicht stelle ich die Versuche in folgender Tabelle zusammen.

Nach		I.		II.		Nach		I.		II.	
St.	Min.	Kalk-frei cm.	Kalk-haltig cm.	Kalk-frei cm.	Kalk-haltig cm.	St.	Min.	Kalk-frei cm.	Kalk-haltig cm.	Kalk-frei cm.	Kalk-haltig. cm.
—	5	5,5	3,5	5,5	4,25	2	—	—	—	—	—
—	10	7,5	7	8	6	3	—	35	36	34	35,25
—	15	9,5	9,5	10	9	4	—	39	40	37	39,5
—	30	14	14,25	14,5	14,5	5	—	43	43,75	42,5	43,25
—	45	17,75	18,25	17,5	18,5	6	—	46	47	45,75	46,5
1	—	20	20,5	19,5	21	7	—	50,25	51	49,75	50,25
1	15	22,25	23,5	22,5	24,75	8	—	53,25	53,75	53	53,5
1	30	24,5	25,5	24,75	27	9	—	55,75	56,25	55,5	56,5
1	45	26,75	27,75	27	—						

Die Differenzen sind hier bei weitem nicht so gross, als die in den kalkfreien und kalkhaltigen „feinsten Theilen“ sich zeigenden, sie sind jedoch unverkennbar.

Die verschiedene Schnelligkeit der Leitung ersieht man am besten aus nachstehender Zusammenstellung.

Das Wasser stieg

	I. im kalkfr. Löss	I. i. kalkh. Löss	II. i. kalkfr. Löss	II. i. kalkh. Löss
in den 1. 5 Minuten	5,5 cm.	3,5 cm.	5,5 cm.	4,25 cm.
„ „ 2. „	2 „	3,5 „	2,5 „	1,75 „
„ „ 3. „	2 „	2,5 „	2 „	3 „
„ „ 2. Viertelstunde	4,5 „	4,75 „	4,5 „	5,5 „
„ „ 3. „	3,75 „	4,0 „	3 „	4 „

	I.		II.	
	im kalkfr. Löss	i. kalkh. Löss	i. kalkfr. Löss	i. kalkh. Löss
in den 4. Viertelstunde	2,25 cm.	2,25 cm.	2 cm.	2,5 cm.
„ „ 5. „	2,25 „	3 „	3 „	3,75 „
„ „ 6. „	2,25 „	2 „	2,25 „	2,25 „
„ „ 7. „	2,25 „	2,25 „	— „	— „
„ „ 4. Stunde	4 „	4 „	3 „	4,25 „
„ „ 5. „	4 „	3,75 „	5,5 „	4,75 „
„ „ 6. „	3 „	3,25 „	3,25 „	3,25 „
„ „ 7. „	4,25 „	4 „	4 „	3,75 „
„ „ 8. „	3 „	2,75 „	3,25 „	3,25 „
„ „ 9. „	2,5 „	2,5 „	2,5 „	3 „

In den ersten 5—10 Minuten steigt das Wasser im kalkhaltigen Löss langsamer, als im kalkfreien, von da ab kehrt sich das Verhältniss um bis zur 4. resp. 6. Viertelstunde, von wo ab von einer constanten Differenz nicht mehr gesprochen werden kann.

Dass auch hier der Grund der Verschiedenartigkeit in der Kapillarleitung in dem Kalkgehalt des einen Materials liegt, ist, glaube ich, wohl kaum zu bezweifeln.

Die in den ersten 10 Minuten beobachtete langsamere Leitung des Wassers im kalkhaltigen Staube erklärt sich wohl folgendermassen.

Bei der für die Leitung sehr günstigen Grösse der Kapillaren, welche durch die einzelnen Körner des Staubes gebildet werden, ist anzunehmen, dass die sehr feinen Haarröhrchen der porösen Kalktheilchen eine Verlangsamung der Kapillarleitung bewirken müssen, da in ihnen der Reibungswiderstand ein bedeutend grösserer ist, als in den grösseren Kapillaren.

Sobald nun aber eine gewisse Höhe erreicht und ein bestimmtes Gewicht der gehobenen Wassersäule zu über-

winden ist, tritt auch hier der günstige Einfluss der feinsten Kapillaren des porösen Kalkes wie in den „feinsten Theilen“ hervor.

Nicht zu erklären weiss ich mir vorläufig die eigenthümliche Erscheinung, dass von der 4. resp. 6. Viertelstunde (in einer Höhe von 20—27 cm.) in beiden Materialien die Leitung, abgesehen von wechselnden Unregelmässigkeiten, ziemlich gleich verlief, sodass von da an von einer schnelleren Leitung im kalkhaltigen Staube nicht mehr die Rede sein kann.

Es müssen hier Momente in Frage kommen, die wir bis jetzt nicht übersehen können; da alle Erklärungsversuche ohne jede Stütze sein würden, so wird man sich vorläufig mit der Thatsache begnügen müssen, bis spätere Untersuchungen ein Verständniss ermöglichen.

III. Korngrösse 0,1—0,05 mm.

1. Tertiärsand 0,1—0,05 mm.

Vom 19. Februar. — 9. Juni 1880.

Tage	cm.	Tage	cm.	Tage	cm.	Tage	cm.	Tage	cm.	Tage	cm.	Tage.	cm.	Tage.	cm.
1	57,75	15	69,25	29	71,25	43	72,25	57	73	71	73,5	85	—	99	—
2	63	16	69,5	30	—	44	—	58	—	72	—	86	—	100	—
3	65	17	69,75	31	—	45	—	59	—	73	73,75	87	—	101	—
4	66	18	70	32	71,5	46	72,5	60	73,25	74	—	88	—	102	—
5	66,5	19	—	33	—	47	—	61	—	75	—	89	74,25	103	—
6	66,75	20	—	34	—	48	—	62	—	76	—	90	—	104	—
7	67,25	21	70,25	35	—	49	—	63	73,5	77	—	91	—	105	—
8	67,5	22	70,5	36	71,75	50	—	64	—	78	—	92	—	106	74,75
9	67,75	23	70,75	37	—	51	—	65	—	79	74	93	—	107	—
10	68	24	—	38	—	52	72,75	66	—	80	—	94	74,5	108	—
11	68,25	25	—	39	72	53	—	67	—	81	—	95	—	109	—
12	68,5	26	71	40	—	54	—	68	—	82	—	96	—	110	—
13	68,75	27	—	41	—	55	—	69	—	83	—	97	—		
14	69	28	—	42	—	56	73	70	—	84	—	98	—		

Der Verlauf dieses Versuchs unterscheidet sich nach obigen Zahlen von dem aller vorhergehenden.

In den „feinsten Theilen“ wurde das Wasser langsam, aber bis zu einer über 1 m. liegenden Höhe gehoben; im Staube fand die Leitung schneller statt und erstreckte sich auch über 1 m. hinaus.

Im feinen Sande (0,1—0,05 mm.) dagegen steigt das Wasser zuerst bedeutend schneller als in den „feinsten Theilen“, auch noch schneller als im Staube, jedoch in einer Höhe von 70—75 cm. hört die Kapillarleitung plötzlich auf; hier liegt der Punkt, wo die Schwere der gehobenen Wassersäule die Kapillarkraft aufhebt.

Am	1.	Tage	wurde	dass	Wasser	57,75	cm.	gehoben
„	2.	„	„	„	„	5,25	„	„
„	3.	„	„	„	„	2	„	„
„	4.	„	„	„	„	1	„	„
„	5.	„	„	„	„	0,5	„	„
„	6—17.	„ à Tag	durschnittlich			0,25	„	„
„	18—63.	„ „ „		„		0,08	„	„

Vom 63. Tage ab ist die Steigung so gering, dass von einer kapillaren Leitung wohl kaum mehr die Rede sein kann; man wird vielmehr die vom 63. Tage ab noch wahrgenommene geringe Erhebung des Wassers auf die Verdunstung aus den mit Wasser gefüllten Schichten und die in den darüber liegenden Abschnitten stattfindende Condensirung des Wassers zurückführen müssen.

Die kapillare Steigung des Wassers am 1. Tage des Versuchs verlief folgendermassen:

In	—	St.	5	Min.	bis	7	cm.	In	—	St.	30	Min.	bis 26	cm.
„	—	„	10	„	„	14,5	„	„	—	„	45	„	„ —	„
„	—	„	15	„	„	18	„	„	1	„	—	„	„ 35,5	„
„	—	„	20	„	„	21,5	„	„	1	„	15	„	„ 38,5	„
„	—	„	25	„	„	23,5	„	„	1	„	30	„	„ 41	„

In 1 St.	45 Min.	bis	43	cm.	
„ 2 „	— „	„	44,5	„	
„ 2 „	15 „	„	45	„	
„ 2 „	30 „	„	45,5	„	
„ 2 „	45 „	„	46,5	„	
„ 3 „	— „	„	47,0	„	
„ 3 „	15 „	„	47,5	„	
„ 3 „	30 „	„	48	„	
In 3 St.	45 Min.	bis	48,5	„	
„ 4 „	— „	„	49	„	
„ 4 „	15 „	„	49,5	„	
„ 4 „	30 „	„	50	„	
„ 4 „	45 „	„	50,25	„	
„ 5 „	30 „	„	51	„	
„ 5 „	45 „	„	51,25	„	

2. Diluviallehm (0,1—0,05 mm.)

Vom 23. November 1880 — 6. Januar 1881.

Tage	cm.	Tage	cm.	Tage	cm.	Tage	cm.
1	56	12	—	23	—	34	—
2	63,5	13	68,5	24	69,5	35	70,25
3	65,75	14	68,75	25	—	36	—
4	66,75	15	—	26	—	37	—
5	67,5	16	—	27	69,75	38	70,5
6	—	17	—	28	—	39	—
7	67,75	18	69	29	—	40	—
8	68	19	—	30	—	41	—
9	—	20	—	31	70	42	—
10	68,25	21	69,25	32	—	43	—
11	—	22	—	33	—	44	—

Dieser Versuch zeigt denselben Verlauf wie der vorige.

Das Wasser steigt		i. Diluvlehm.	i. Tertiärsand
am 1.	Tage	56 cm.	57,5 cm.
„ 2.	„	7,5 „	5,25 „
„ 3.	„	2,25 „	2 „
„ 4.	„	1 „	1 „
„ 5.	„	0,75 „	0,5 „
„ 6—17. à	„	0,10 „	0,25 „
„ 18—38. „	„	0,08 „	0,08 „

Die hier ersichtlichen Differenzen sind so geringfügig dass sie sich vollständig aus Ungleichmässigkeiten in der Lagerung, die ich schon oben erwähnt, erklären lassen.

Zudem verändern sie das Gesammtbild des Versuchsresultats durchaus nicht. Auch hier hört die Kapillarleitung in einer Höhe von 70—75 cm. auf, nachdem sie bis zu 56 cm. Höhe einen rapiden Verlauf genommen.

Am 44. Tage wurde der Versuch unterbrochen, da seit 7 Tagen kein merkliches Steigen des Wassers mehr wahrgenommen wurde.

Die Ablesungen am 1. Tage des Versuchs sind folgende Das Wasser stieg

in	—	Stunden	5	Minuten	bis	8,25	cm.
„	—	„	10	„	„	12	„
„	—	„	15	„	„	14,5	„
„	—	„	20	„	„	19,75	„
„	—	„	25	„	„	22,5	„
„	—	„	55	„	„	27,0	„
„	1	„	25	„	„	32,5	„
„	2	„	—	„	„	—	„
„	2	„	30	„	„	37	„
„	3	„	—	„	„	39	„
„	3	„	30	„	„	40,5	„
„	4	„	30	„	„	42	„
„	5	„	30	„	„	44	„
„	6	„	30	„	„	45	„
„	7	„	30	„	„	46	„

3. Diluvialmergel (0,1—0,05 mm.) 1,31% CaO.

Vom 21. Juni — 3. August 1880.

Tage	cm.	Tage	cm.	Tage	cm.	Tage	cm.
1	39,5	12	66,5	23	—	34	69,5
2	50,5	13	66,75	24	68,75	35	—
3	56,25	14	67	25	—	36	—
4		15	67,25	26	—	37	—
5	62,5	16	67,5	27	69	38	69,75
6	63,5	17	67,75	28	—	39	—
7	64,75	18	—	29	—	40	—
8	65,25	19	68	30	—	41	—
9	65,5	20	—	31	69,25	42	—
10	65,75	21	68,25	32	—	43	—
11	66,25	22	68,5	33	—		

Im Grossen und Ganzen bestätigt auch dieser Versuch die Resultate der beiden vorigen. Auch hier finden wir am 1. Tage eine sehr rasche Kapillarleitung, die sich dann bedeutend verlangsamt, bis sie zuletzt auf ein Minimum herabsinkt.

Die Unterschiede, die der Verlauf dieses Versuchs gegenüber den beiden vorigen zeigt, stellen sich folgendermassen.

Das Wasser wurde gehoben

		i. Diluvmergel,	i. Diluvlehm,	i. Tertiärsand
am 1.	Tage	39,5 cm.	56 cm.	57,5 cm.
„ 2.	„	11 „	7,5 „	5,25 „
„ 3.	„	5,75 „	2,25 „	2,0 „
„ 4—5.	„ à	3,10 „	0,87 „	0,75 „
„ 6—17.	„ à	0,25 „	0,10 „	0,25 „
„ 18—38.	„ à	0,09 „	0,08 „	0,08 „

Im Diluvialmergel stieg demnach das Wasser am 1. Tage langsamer, wie im Diluviallehm und Tertiärsand, von da ab jedoch wurde die Kapillarleitung im Mergel eine schnellere, sodass am 6. Tage das Wasser in demselben nur 4 cm. niedriger steht, als im Diluviallehm und 3,25 cm.

niedriger als im Tertiärsand, während am Ende des ersten Tages die Differenzen 16,5 cm. resp. 18 cm. betrugen.

Auch diese Differenzen erkläre ich mir aus dem Einfluss des Kalkgehalts des Diluvilalmergels, ganz analog wie beim Staube resp. den „feinsten Theilen“ und verweise auf diese Erklärungen.

Der Vollständigkeit halber gebe ich auch hier die Notirungen vom 1. Tage des Versuchs.

Das Wasser stieg

in	—	St.	10	Min.	bis	5	cm.	in	2	St.	—	W. bis	15	cm.
„	—	„	15	„	„	6,5	„	„	2	„	15	„ „	15,25	„
„	—	„	20	„	„	7	„	„	2	„	30	„ „	16	„
„	—	„	25	„	„	8,5	„	„	2	„	45	„ „	16,5	„
„	—	„	30	„	„	8,75	„	„	3	„	—	„ „	17	„
„	—	„	35	„	„	9	„	„	3	„	15	„ „	17,5	„
„	—	„	40	„	„	9,5	„	„	3	„	30	„ „	18	„
„	—	„	45	„	„	9,75	„	„	3	„	45	„ „	18,5	„
„	—	„	50	„	„	10,25	„	„	4	„	—	„ „	18,75	„
„	—	„	55	„	„	11	„	„	4	„	15	„ „	19	„
„	1	„	—	„	„	11,5	„	„	4	„	30	„ „	19,5	„
„	1	„	5	„	„	12	„	„	4	„	45	„ „	20,75	„
„	1	„	10	„	„	12,5	„	„	5	„	—	„ „	21	„
„	1	„	15	„	„	12,75	„	„	5	„	30	„ „	22,25	„
„	1	„	20	„	„	13	„	„	6	„	—	„ „	23,5	„
„	1	„	25	„	„	13,25	„	„	6	„	—	„ „	24,75	„
„	1	„	30	„	„	13,5	„	„	7	„	—	„ „	25,75	„
„	1	„	35	„	„	13,75	„	„	7	„	30	„ „	26	„
„	1	„	40	„	„	14	„	„	8	„	—	„ „	26,75	„
„	1	„	45	„	„	14,25	„	„	9	„	—	„ „	27,75	„
„	1	„	50	„	„	14,5	„	„	10	„	—	„ „	28,25	„

Die Resultate aller drei Versuche zeigen, dass die kapillare Leitung im feinen Sande (0,1—0,05 mm. Korngrösse) zwar bis ca. 60 cm. eine schnelle ist, von da ab sehr lang-

sam verläuft, bis sie in einer Höhe von 70—75 cm. vollständig aufhört, da hier die Schwere der Wassersäule die Kapillarkraft aufhebt.

IV. Korngrösse 0,25—0,1 mm.

Tertiärsand (0,25—0,1).

Vom 18. März — 11. April 1881.

Tage	cm.	Tage	cm.	Tage	cm.
1	19,5	9	—	17	—
2	20	10	—	18	—
3	—	11	—	19	—
4	—	12	—	20	—
5	20,25	13	—	21	—
6	—	14	—	22	—
7	—	15	—	23	—
8	20,5	16	—	24	—

Bei dieser Korngrösse sehen wir schon in einer Höhe von 20,5 cm. die Kapillarität durch die Schwere der gehobenen Wassersäule aufgehoben.

Dass im Allgemeinen bei zunehmender Korngrösse die Höhe, bis zu welcher Wasser kapillar geleitet wird, abnimmt, ist sehr leicht erklärlich, da mit zunehmender Korngrösse auch die Grösse der Zwischenräume zwischen den einzelnen Bodentheilchen zunimmt, die kapillar gehaltene Wassersäule von gleicher Höhe demnach auch schwerer ist, wie die in feinerem Material mit kleineren Zwischenräumen.

Wie das Wasser in den unteren Schichten des Materials stieg, zeigen folgende Zahlen.

Das Wasser stieg

in	—	Stunden	10	Minut.	bis	10	cm.
„	—	„	15	„	„	10,5	„
„	—	„	30	„	„	11,5	„

in	—	Stunden	45	Minut.	bis	13	cm.
„	1	„	—	„	„	13,5	„
„	2	„	—	„	„	14,5	„
„	3	„	—	„	„	16	„
„	4	„	—	„	„	16,5	„
„	5	„	—	„	„	16,75	„
„	6	„	—	„	„	17,25	„

V. Korngrösse 0,5—0,25 mm.

Diluviallehm (0,5—0,25 mm.)

Vom 16. März bis 10. Mai 1881.

Tage	cm.	Tage	cm.	Tage	cm.
1	16	11	—	21	—
2	17,75	12	22,75	22	—
3	18,5	13	—	23	—
4	20	14	28	24	—
5	21,5	15	—	25	—
6	22,0	16	23,25	26	—
7	—	17	25	43[1])	26,5
8	22,25	18	—	55[2])	27
9	—	19	—	—	
10	22,5	20	—		

Von vornherein sollte man aus dem oben angeführten Grunde annehmen, dass in der Korngrösse 0,5—0,25 mm. die Grenze der Kapillarleitung niedriger läge, als bei der Korngrösse 0,25—0,1 mm. Obiger Versuch bestätigt diese Annahme aber ohne Weiteres nicht. Während in der Korngrösse 0,25—0,1 mm. bei 20,5 cm. Höhe die Kapillarleitung

---

1) Nach 43 Tagen stand das Wasser an einer Seite der Röhre 25 cm. hoch, an der andere Seite 28 cm.; notirt wurde das Mittel 26,5.

2) Nach 55 Tagen stand das Wasser ebenso 25 cm. und 29 cm. hoch; notirt wurde das Mittel 27 cm.

schon aufhörte, lag die Grenze für letztere in der Korngrösse 0,5—0,25 mm. erst zwischen 25 und 30 cm.

Eine Erklärung hierfür wird man meiner Ansicht nach nur in der Gestalt der einzelnen Körner finden können. Das Material des vorigen Versuchs — Korngrösse 0,25—0,1 mm. — ist durch Sieben etc. aus Tertiärsand abgeschieden und die einzelnen Körner zeigen unter dem Microskop durchweg die Form von Pyramiden mit scharfen Kanten, während die Körner des Diluviallehms 0,5—0,25 mm. sich als kugelförmige nach allen Seiten abgeschliffene Körper präsentiren.

Es leuchtet nun ein, dass beim Aneinanderlagern der einzelnen Körner die scharfkantigen unter Umständen weitere Zwischenräume bilden können, als die abgerundeten, trotzdem letztere grösser sind.

Hierdurch würde sich das Ergebniss des Versuchs erklären.

Zugleich aber folgt aus obiger Betrachtung, dass bei den gröberen Constituenten ausser der Grösse der Körner auch deren Gestalt beim Vergleich ihrer Eigenschaften in Betracht gezogen werden muss, wenn es sich um entscheidende Versuche handelt. Für die Kapillarleitung des Wassers im Boden haben nun aber die Constituenten über 0,25 mm. im Vergleich zu den feineren Korngrössen so wenig Bedeutung, dass ich mich mit diesem einen Versuche begnügen zu können glaubte, zumal mir vergleichbares Material von der Korngrösse 0,5—0,25 mm. nicht zu Gebote stand. —

Die in obiger Tabelle auffallende Erscheinung, dass das Wasser am 17. Tage auf ein Mal 1,75 cm. gestiegen, während es seit dem 6. Tage täglich nur 0,125 cm. gehoben war, hat ihren Grund darin, dass das Wasser vom 6. Tage ab nicht gleichmässig in der ganzen Bodensäule gestiegen ist, sondern in der Mitte höher stand, als an den Seiten, wo der Stand nur abgelesen werden konnte. Am 17. Tage

ist es dann bei 25 cm. Höhe von Innen herausgetreten und stieg in Folge dessen am Rande um 1,75 cm.

Dieselbe Erscheinung bot sich schon im Anfange des Versuchs dar, jedoch glich sich da der Stand in einigen Minuten wieder aus.

Die kapillare Leitung verlief in den ersten Stunden des Versuchs folgendermassen:

Das Wasser stieg

in	—	Stunden	5	Minuten	bis	7,5	cm.
"	—	"	10	"	"	8,5	"
"	—	"	20	"	"	9	"
"	—	"	30	"	"	10,5	"
"	1	"	—	"	"	11	"
"	1	"	30	"	"	11,5	"
"	2	"	—	"	"	12	"
"	2	"	30	"	"	12,5	"
"	3	"	—	"	"	13	"
"	4	"	30	"	"	13,5	"
"	5	"	30	"	"	14	"
"	6	"	30	"	"	14,5	"

VI. Korngrösse 1,0—0,5 mm.

Diluviallehm (1,0—0,5 mm.)

Vom 19. Mai 1881 — 22. September 1881.

Tage	cm.	Tage	cm.	Tage	cm.
1	6	11	8,75	21	—
2	6,5	12	9	22	—
3	7	13	—	23	—
4	7,5	14	—	24	—
5	8	15	9,25	25	—
6	8,25	16	—	26	—
7	—	17	—	27	—
8	—	18	9,5	28	—
9	8,5	19	—	126	10
10	—	20	9,75		

Bei diesem Constituenten sehen wir die Kapillarkraft bei einer Höhe von ca. 10 cm. von der Schwerkraft aufgehoben.

Das Steigen von 2 cm. in 98 Tagen kann man wohl kaum der Kapillarkraft zu Gute schreiben, dasselbe erklärt sich vielmehr aus der Verdunstung des Wassers aus der gesättigten Bodensäule.

Der Grund für das ungleichmässige Steigen vom 9. — 11. Tage ist derselbe, wie beim vorigen Constituenten. Auch hier stieg das Wasser mitten in der Bodensäule etwas schneller, als an den Seiten. Bei einer Höhe von 9 cm. glich sich der Stand aus, indem das Wasser von Innen heraustrat.

Am ersten Tage haben der langsamen Leitung wegen nur 2 Notirungen des Wasserstandes stattgefunden. Nach 1 Minute war das Wasser bis 4 cm. gestiegen und nach 5 Minuten bis 4,5 cm. Von da an verlangsamte sich die Leitung derart, dass nach einem Tage das Wasser 6 cm. hoch stand.

Gröbere Constituenten standen mir nicht in genügender Menge zu Gebote. Die Versuche mit denselben würden auch wohl kaum irgend welches weitere Interesse in Ansprusch nehmen können, da vorauszusehen, dass mit dem Wachsen der Korngrösse der Punkt, bis zu welchem das Wasserkapillar gehoben wird, sinkt, sodass die Kapillarleitung in einer gewissen Korngrösse ganz aufhören wird.

Fasst man die obigen Versuchsergebnisse kurz zusammen, so kommt man zu folgenden Schlüssen.

Je feiner ein Bodenconstituent ist, desto höher wird in ihm das Wasser kapillar gehoben.

Experimentell konnte nicht entschieden werden, ob in den „feinsten Theilen" oder im „Staube" (0,05—0,01 mm.) die Grenze für die Kapillarität am höchsten liegt, doch kann man nach den Ergebnissen der übrigen Versuche wohl keinen Anstand nehmen, den „feinsten Theilen" die Fähigkeit, das Wasser kapillar zur grössten Höhe zu leiten, zuzusprechen.

Bezüglich der Schnelligkeit der kapillaren Leitung bis zu deren oberen Grenze ergiebt sich aus obigen Versuchen folgende Reihenfolge der Constituenten, beginnend mit dem, in welchem das Wasser am langsamsten kapillar gehoben wird.

1. feinste Theile; — 0,01 mm.
2. 0,5 —0,25 mm. Korngrösse
3. 0,5 —0,25 „ „
4. 0,25—0,1 „ „
5. 0,05—0,01 „ „
6. 0,1 —0,05 „ „

Es steigt nämlich das Wasser in 1 Stunde

in 0,1 —0,05 mm.	Korngr.	35,5	cm.
„ 0,05—0,01 „	„	20	„
„ 0,25—0,1 „	„	13,5	„
„ 0,5 —0,25 „	„	11	„
„ 1 —0,5 „	„	4,5—5	„
„ feinsten Theilen		2	„

Am schnellsten wird also das Wasser in der Korngrösse 0,1—0,05 mm. gehoben, dann folgt der Staub, darauf die Sande vom feineren bis zum gröberen und am langsamsten endlich findet die Leitung in den „feinsten Theilen" statt.

Die Grösse der Kapillarräume des Constituenten 0,1—0,05 mm. ist demnach für die Schnelligkeit der Leitung die

günstigste; werden die Kapillarräume grösser, so wird der Widerstand, den die Schwere der gehobenen Wassersäule der Kapillarleitung entgegensetzt, die letztere verlangsamen; denselben Effekt wird bei engeren Kapillarräumen der vergrösserte Reibungswiderstand hervorbringen.

Bis jetzt haben wir uns nur mit der Leitung des Wassers von unten nach oben beschäftigt. Wir dürfen nun nicht ausser Acht lassen, dass im natürlichen Boden diese Art der Leitung nur in beschränktem Masse in Frage kommt, nämlich nur bei der Leitung des Grundwassers in höhere Schichten.

Die Hauptmasse des im Boden circulirenden Wassers wird demselben aber von oben zugeführt und nach anderen Gesetzen geleitet, als das von unten aufsteigende Wasser.

Von vornherein ist anzunehmen, dass diese Leitung des Wassers von oben nach unten am besten vor sich gehen wird in einem Boden mit möglichst vielen nicht kapillaren Hohlräumen, in welchem also das von der Schwerkraft nach unten geleitete Wasser möglichst wenig Widerstand durch Reibung findet.

Sowie sich die kapillaren Hohlräume vermehren, steigt natürlich auch die in diesen der Schwerkraft entgegenwirkende Reibung und die Leitung des Wassers wird verlangsamt. Dieselbe Wirkung wird natürlich durch Verengung der Kapillaren hervorgebracht.

Hiernach würde also die Schnelligkeit der Leitung des Wassers von oben nach unten mit der Zu- und Abnahme der Korngrösse steigen oder fallen.

Im Allgemeinen wird diese Annahme durch nachstehenden Versuch bestätigt.

Ich füllte die verschiedenen Materialien, ebenso wie

oben beschrieben, in dieselben Röhren, in denen ich vorstehende Versuche ausgeführt hatte, jedoch nicht bis zu 1 m., sondern meist nur bis 56 cm. Höhe, da mir von den gröberen Constituenten nicht mehr Material zu Gebote stand.

Alsdann wurde obenauf eine 4 cm. hohe Wasserschicht gegossen, die während des Versuchs auf gleicher Höhe gehalten wurde.

Die Schnelligkeit des Sinkens in den einzelnen Constituenten zeigt nachfolgende Tabelle.

Das Wasser sank

In		— 0,01 mm. cm.			0,05—0,01 mm. Löss		0,1—0,05 mm. cm.			0,25—01,mm. cm.		0,5-0,25 mm. cm.	1—0,5 mm. cm.
St.	M.	Kaolin	Dil. lehm	Kreide	Kalkfrei	Kalkhaltg	Tert. sand	Dil. lehm	Dil. merg.	Tert. sand	Dil. lehm	Dil. lehm	Dil. lehm
—	1		0,5	3	1,5	2,25	6	5,5	5	4,5	5,5	12,5	³/₄M. 30.
—	2		0,75	—	3,25	4	8,75	8	7,5	7,25	9	17	—
—	3		1	—	4,25	5	10,75	10	8,75	9,25	11	—	—
—	4		—	3,5	5,25	6,25	13,25	11,5	10	11	13	27	—
—	5		1,25	—	6	7	16	13	11	13	15,5	34	—
—	6		—	3,75	6,75	7,75	18	14	12,5	15,5	17	39	—
—	7		1,5	—	7,5	8,5	20	15,25	14	17	19,5	46	—
—	8		—	4	8,25	9,25	21,75	17	15,5	19,5	21,25	52	—
—	9		1,75	—	8,75	9,75	23	18,25	16,25	21	22	56	—
—	10	1,0	—	4,25	9,25	10,25	—	18,75	17,25	22,25	23	—	—
—	15		2	4,5	11,75	13,25	33	24	22,5	—	29,5	—	—
—	20		2,5	4,75	13,75	15,5	37,5	28,25	—	—	35,5	—	—
—	25		2,75	5	15,5	17,5	42	34,25	30,5	—	40,5	—	—
—	30		3	5,25	17,25	19,5	48,5	39	34	—	47,5	—	—
—	35		—	5,5	19	21,5	56	42,75	37,5	—	51	—	—
—	40		3,25	—	20,5	23,25	—	44,75	40,5	—	56	—	—
—	45		—	—	22	—	—	48,5	43,25	—	60	—	—
—	50	1,5	3,75	6	23,25	—	—	50,5	45,5	—	—	—	—
—	55		—	—	—	27,5	—	53,5	48	—	66,5	—	—
1	—		4	6,5	—	29	—	56	51,25	—	71	—	—
1	5		4,25	—	—	30,25	—	—	53	—	75,5	—	—
1	10		—	6,75	28	31,25	—	—	56	—	78,5	—	—
1	15		4,5	7	29,25	32,5	—	—	—	—	81	—	—
1	30		5	—	32,5	35,75	—	—	—	—	90	—	—
1	45		5,25	8	35,25	38,5	—	—	—	—	—	—	—
2	45		6,25	9,75	46	50	—	—	—	—	—	—	—
3	15			—	48,25	53,25	—	—	—	—	—	—	—
3	45			11	52	56	—	—	—	—	—	—	—
4	15			—	56	—	—	—	—	—	—	—	—
5	—	4		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

In den „feinsten Theilen“ setzte sich die Leitung folgendermassen fort.

Das Wasser war gesunken im

	Kaolin.	Dil. lehm.	Kreide.
nach 1. Tage	12 cm.	21 cm.	
„ 2. „	16,5 „	24,5 „	34,5 cm.
„ 3. „	18,75 „	28,75 „	43,25 „
„ 4. „	20,75 „	33 „	47 „
„ 5. „	23 „	36,5 „	51,5 „
„ 6. „	27 „	39,75 „	55 „
„ 7. „	29 „	42,5 „	
„ 8. „	31,5 „	45 „	
„ 9. „	32,5 „	47,5 „	
„ 10. „	34,5 „	50 „	
„ 11. „	37 „	52,25 „	
„ 12. „	38 „	53,75 „	

Der oben vorausgesetzte Unterschied zwischen den verschiedenen Constituenten zeigt sich unverkennbar.

Vergleichen wir unter andern die Zeit, welche das Wasser in den einzelnen Constituenten gebraucht hat, um 30 cm. tief einzudringen.

Dies geschah

in Korngrösse	1 —0,5 mm.	in	0,75 Minuten
„ „	0,5 —0,25 „	„	4—5 „
„ „	0,25—0,1 „	„	ca. 15 „
„ „	0,1 —0,05 „	„	20—25 „
„ „	0,05—0,01 „	„	ca. 70 „
„ „	—0,01 „	„	2—8 Tagen

Was nun den Verlauf des Versuchs in den verschiedenen Materialien derselben Korngrösse anlangt, so finden wir hier ähnliche Verschiedenheiten, wie bei der Kapillarleitung von unten nach oben.

In den „feinsten Theilen“ des Kaolins wird das Wasser

am langsamsten geleitet, schneller in denen des Diluviallehms und noch schneller in den „feinsten Theilen" der Kreide.

Dass auch hier der Grund dieser Differenzen in stofflicher Verschiedenheit der Materialien liegt, ist klar.

Zur Erklärung dieser Erscheinung schliesse ich mich der Ansicht Schumachers[1]) an, wonach die feinsten Thontheilchen sich mit dünnen Wasserhüllen umgeben und dann sehr stark aneinander haften. Dadurch wird natürlich dem weiteren Eindrigen des Wassers ein grosser Widerstand entgegengesetzt.

Sobald nun die Thontheilchen mit feinsten Sandpartikelchen gemischt sind, tritt obige Eigenschaft des Thones weniger hervor, und das Wasser wird schneller eindringen können.

Der kohlensaure Kalk zeigt im feuchten Zustande eine bedeutend geringere Cohärenz, als der Thon und wird in Folge dessen dem Eindringen des Wassers auch weniger Widerstand entgegensetzten, als letzterer.

Hieraus würden sich obige Erscheinungen vollständig erklären.

Im Staube sehen wir den Kalk wieder eine beschleunigende Wirkung ausüben, verlangsamend dagegen wirkt er auf die Leitung in der Korngrösse 0,1—0,05 mm.

Es wird dies darin begründet liegen, dass die Cohärenz des Kalkes kleiner ist, als die der meisten übrigen Bestandtheile des Staubes, dagegen grösser, als die derjenigen der Korngrösse 0,1—0,5 mm.

Nicht auffallen kann uns die schnellere Leitung des Wassers in der Korngrösse 0,1—0,05 mm. des Tertiärsandes gegenüber der in derselben Korngrösse des Diluviallehms, da die pyramidenförmigen Körner des Tertiärsandes grö-

1) Schumacher, der Ackerbau 1874. p. 15.

ssere Zwischenräume bilden werden, als die runden des Diluviallehms.

Fassen wir nun die Ergebnisse unserer Versuche zusammen, so können wir das Verhalten der einzelnen durch den Schöne'schen Schlämmapparat abgeschiedenen hydraulischen Werthe gegen das Wasser folgendermassen präcisiren.

Die „feinsten Theile" (— 0,01 mm. Korngrösse) leiten das Wasser langsam, aber bis zu bedeutender Höhe; von oben kommendes Wasser dringt nur äusserst langsam in dieselben ein.

Im „Staube" (0,05—0,01 mm. Korngrösse) steigt das Wasser bedeutend schneller bis zu einer über 1 m. liegenden Höhe und die Leitung desselben von oben nach unten ist ebenfalls eine sehr viel raschere, als die in den „feinsten Theilen."

Die Kapillarleitung des „feinen Sandes" (0,1—0,05 mm. Korngrösse) ist zwar die schnellste aller Constituenten, jedoch hört dieselbe schon in einer Höhe von 70—75 cm. vollständig auf. Von oben eindringendes Wasser wird schnell nach unten geleitet.

Bei allen gröberen Constituenten nimmt die Schnelligkeit und Höhe der Kapillarleitung mit der Zunahme der Korngrösse ab; in demselben Masse vergrössert sich dagegen die Geschwindigkeit, mit der das Wasser von oben nach unten geleitet wird.

Es grenzen sich hiernach die einzelnen hydraulischen Werthe in ihrem Verhalten gegen Wasser scharf von einander ab.

Was nun die Gleichwerthigkeit der aus verschiedenen

Böden abgetrennten gleichen hydraulischen Werthe anlangt, so war von vornherein anzunehmen, dass von einer absoluten Gleichwerthigkeit der einzelnen Constituenten verschiedener Böden nicht die Rede sein konnte, sondern dass vor allen die feineren Produkte Verschiedenheiten zeigen würden. Diese Annahme ist durch die Versuche bestätigt.

Bis zu einem gewissen Grade ist die Gleichmässigkeit der kapillaren Leitung in den gleichen Korngrössen verschiedener Böden unverkennbar. In den feineren Produkten traten jedoch in der stofflichen Verschiedenheiten des Materials begründete Differenzen auf.

So war die Kapillarleitung in den „feinsten Theilen“ des Diluviallehms eine langsamere, die Leitung des Wassers von oben nach unten jedoch eine schnellere, als die in derselben Korngrösse des Kaolins.

Diese Verschiedenheiten, deren Erklärung ich oben versucht habe, auf alle Thon- und Lehmböden schon jetz übertragen zu wollen, würde wohl zu gewagt sein, doch glaube ich fest, dass durch eine genügende Anzahl Versuche sich ein derartiger Unterschied zwischen Thon- und Lehmböden constatiren lassen wird.

Auch die „feinsten Theile“ des Diluvialmergels zeigten eine Verschiedenheit von denen des Kaolins, indem in ihnen das Wasser schneller geleitet wurde.

Im Staube macht sich derselbe Einfluss des Kalkgehalts geltend, wenn auch in geringerem Masse und selbst in der Korngrösse 0,1—0,05 mm. ist er noch zu erkennen.

In letzterer Korngrösse trat ferner, hauptsächlich bei der Leitung des Wassers von oben nach unten, ein Unterschied zwischen dem Diluviallehm und dem Tertiärsand hervor; das Wasser drang in Korngrösse 0,1—0,05 mm. des Tertiärsandes etwas rascher ein, als in die des Dilu-

viallehms. Den Grund dieser Erscheinung habe ich oben angegeben.

Je gröber nun die Constituenten werden, desto weniger wird ihre Qualität Einfluss auf die kapillare Leitung des Wassers haben.

Schon bei der Korngrösse 0,25—0,1 mm. sind die Differenzen zwischen dem Tertiärsand und dem Diluviallehm so gering, dass sie kleinen Ungleichmässigkeiten im Verlaufe des Versuchs zuzuschreiben sind.

Man sieht hieraus, dass die aus verschiedenen Böden abgeschiedenen hydraulischen Werthe einige Verschiedenheiten bezüglich der kapillaren Leitung des Wassers zeigen; diese Differenzen sind jedoch im Vergleich zu denen zwischen den verschiedenen hydraulischen Werthen desselben Bodens so gering, dass sie bei der Charakteristik der einzelnen Korngrössen gar nicht ins Gewicht fallen und dass man trotz derselben von einer relativen Gleichwerthigkeit der hydraulischen Werthe verschiedener Böden sprechen kann. —

Wollen wir nun die Ergebnisse obiger Versuche auf die natürlichen Böden übertragen, so sind wir zu folgenden Schlüssen berechtigt.

Je grösser der Gehalt eines Bodens an „feinsten Theilen“ (— 0,01 mm. Korngrösse) ist, desto mehr Wasser wird der Culturschicht von unten her zugeführt werden können selbst bei tieferem Stande des Grundwassers, desto ungünstiger stellt sich aber auch das Vermögen des Bodens, von oben kommendes Wasser durchzulassen, sodass unter Umständen ein solcher Boden völlig culturunfähig sein wird.

Mit der Zunahme des Gehalts an gröberen Korngrössen wird zwar die Fähigkeit, das Wasser sehr hoch zu leiten, abnehmen, dagegen wird der Boden in demselben Masse durchlassender werden.


UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 06716 6697

